

## 開口共用2周波アンテナの放射特性の改善とその測定法に関する研究

著者	西澤 一史
号	3166
発行年	2003
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8438">http://hdl.handle.net/10097/8438</a>

氏 名	にし ざわ かず し 西 澤 一 史		
授 与 学 位	博士 (工学)		
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 3 月 25 日		
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学位規則第 4 条第 1 項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気・通信工学専攻		
学 位 論 文 題 目	開口共用 2 周波アンテナの放射特性の改善とその測定法に関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 澤谷 邦男		
論 文 審 査 委 員	主査	東北大学教授 澤谷 邦男	東北大学教授 杉浦 行
		東北大学教授 水野 皓司	東北大学助教授 陳 強

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒論

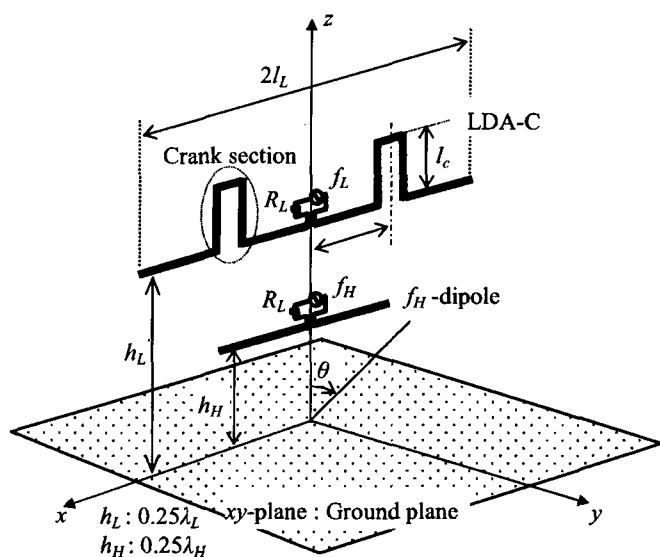
本章では、開口共用 2 周波アンテナを研究対象とした背景および目的を述べると共に、その課題と対策の概要を示している。

1980 年代半ばに起こった「通信の自由化」以降、移動通信の分野では技術の進歩と共にシステムの世代交代が約 10 年の間隔で生じている。第 2 世代 (1990 年代) での携帯電話の爆発的な普及による回線数の増加、IP 接続サービスの増加に伴い、回線容量およびデータ伝送容量の拡大という要求に応えるべく、IMT-2000 という第 3 世代の新しいシステムのサービスが 2001 年度から開始された。各世代で使用している周波数帯は異なり、現在では、800MHz 帯、1.5GHz 帯および 2GHz 帯の 3 周波数帯が共存している。この状況において、通信品質の改善、基地局を設置する空間の縮小および低コスト化といった大きな問題に対応する必要がある。一方、レーダシステム分野では、対象目標を補足、識別する能力を向上するという要求から情報量の拡大を図る目的で、使用周波数の異なる新しいシステムが導入されてきた。これに伴いアンテナ数が増加する傾向にあり、航空機、船舶等に搭載する移動用レーダでは、搭載するための空間や重量の制限およびコスト削減の観点から複数のレーダシステムを統合する要求が出てきている。さらに、車載の無線システムにおいても、ラジオやテレビジョンなどの放送メディア、自動車電話や ITS 関連の通信メディアおよび GPS や衝突防止システムに至るまで、各種サービスが混在している。これらのサービス間で使用する周波数は異なるため、設置スペース、美観等の観点からアンテナの統合化が求められている。

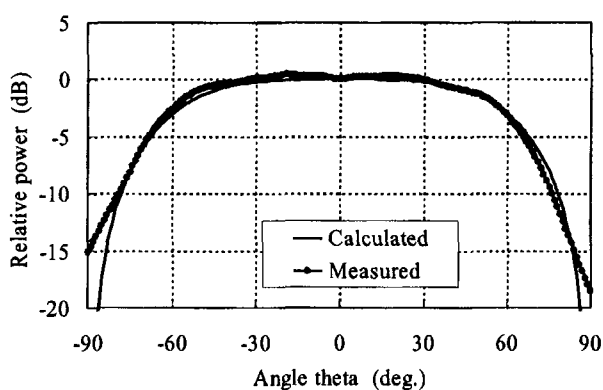
このように現在の無線通信およびレーダの分野では、サービス向上に伴う新システムの導入や高機能・高性能化のために使用周波数の異なる複数のシステムが混在している。また、これらのシステムに用いられるアンテナには環境美化、低コスト化を実現させるための小型化・省スペース化が要求されている。本論文は、このような要求に応えるアンテナの形態として、移動体通信用基地局用およびレーダ用アンテナに多く採用されているダイポールアンテナを素子とした開口共用 2 周波アンテナを研究対象に取り上げる。そして、低周波および高周波における放射特性の改善と、この改善を実現するために必要となる高精度な放射パターンの測定法について研究した成果をまとめたものである。

## 第2章 低周波アンテナ素子に適したクランク付き線状ダイポールアンテナ

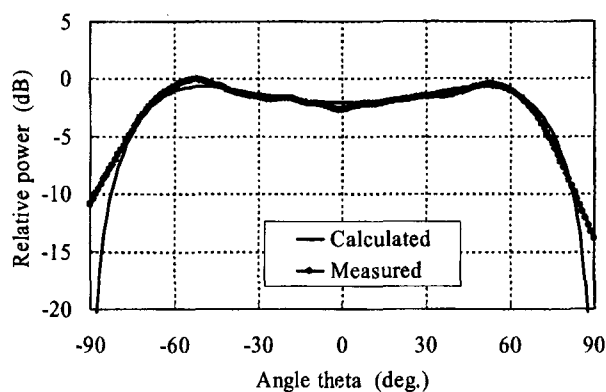
本章では、開口共用2周波アンテナにおける低周波アンテナ素子との相互結合により高周波数帯の放射特性に生じる劣化を改善する低周波アンテナ素子として、図1(a)に示すクランク付き線状ダイポールアンテナ(LDA-C: Linear Dipole Antenna with Crank sections)を提案し、その放射特性改善の有効性を確認している。LDA-Cは、ダイポール放射部の一部を蛇行させてクランク部を設けた構造であり、クランク長 $l_c$ を高周波数帯の約0.25波長と設定することにより誘起電流を抑圧し、再放射を低減できる。このアンテナのクランク長 $l_c$ とダイポール長 $2l_L$ について設計例を示し、クランク長 $l_c$ を高周波数帯で0.23波長とすることにより最も誘起電流を抑圧できることを示すと共に、周波数比が2.5の場合にはダイポール長 $2l_L$ は低周波数帯で0.28波長まで短縮できることを示している。また、周波数比を2.46とし、設計例に基づいて構成したLDA-Cでは、高周波アンテナ素子からの相互結合による誘起電流を抑圧し、放射特性を改善できることをシミュレーションおよび実験により明らかにしている(図1(b), (c)および(d)参照)。さらに、このダイポールアンテナを開口共用2周波アレーアンテナの低周波アンテナ素子に適用し、高周波アンテナ素子の放射特性劣化に起因する高周波数帯でのグレーティンググローブの発生を抑制する効果もシミュレーションおよび実験により確認している。



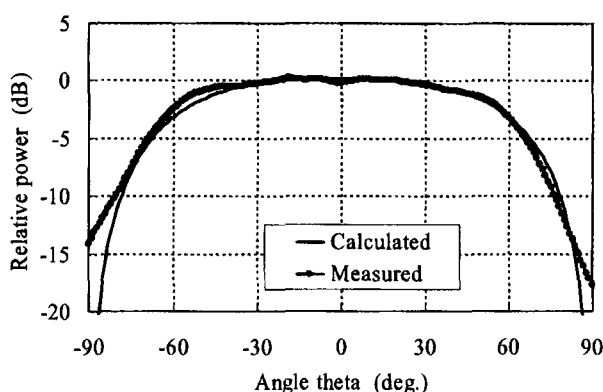
(a) 開口共用2周波アンテナの構造(2周波動作時)



(b)  $f_H$ ダイポールのみの場合



(c) 通常の $f_L$ ダイポールを用いた場合



(d) LDA-Cを用いた場合

図1 LDA-Cを適用した開口共用2周波アンテナとその放射特性(H面)の改善効果

### 第3章 地板付きダイポールアンテナのE面放射パターンのビーム幅の拡大

本章では、図2に示す地板付きダイポールアンテナの近傍に負荷装荷のモノポールアンテナを2素子配置し、負荷の調整によりダイポールアンテナのE面ビーム幅を拡大する方法を提案している。まず、EMF法を基にした解析手法を適用して所望ビーム幅を得るために必要な負荷値（リアクタンス値 $X$ ）を得る手順を示している。つぎに、この解析手法を用いてアンテナパラメータとビーム幅の関係をシミュレートし、モノポール長 $l_m$ を0.2波長、モノポールの素子間隔 $2d_m$ を0.4波長とすることにより、負荷に対する設計精度を緩和できることを明らかにしている。さらに、モノポールに装荷した負荷の抵抗分 $R$ が小さいほどビーム幅を所望値以上に保つ効果は大きく、リアクタンス分 $X$ の調整によりビーム幅は最大180度まで拡大できることを明らかにしている（図3参照）。最後に、チップインダクタを負荷した実験から、提案した方法により地板付きダイポールアンテナのE面ビーム幅を拡大できることを確認している。本研究は、開口共用2周波アンテナの低周波アンテナ素子をダイポールアンテナとし、モノポールアンテナを高周波アンテナ素子として想定して、低周波アンテナ素子との相互結合を積極的に利用したものである。また、高周波アンテナ素子としてモノポールアンテナでなく、ダイポールアンテナとしても本章で示された効果を得ることができる。本方法はダイポールアンテナをアンテナ素子とするアレーアンテナにおいて利得低下を抑えたE面方向への広角ビーム走査に適している。

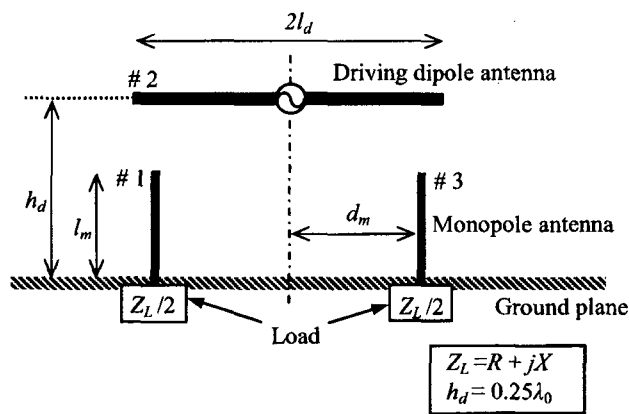


図2 アンテナモデル

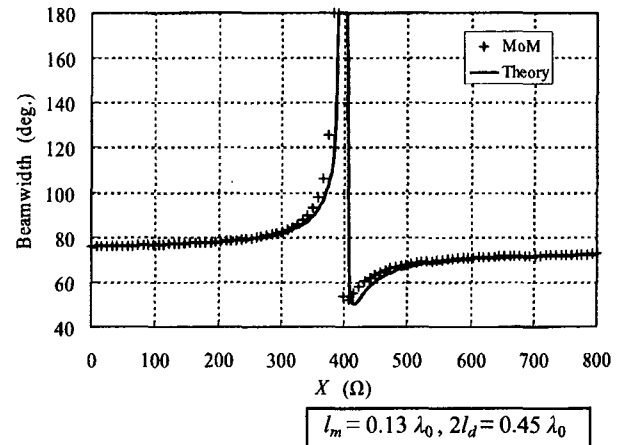


図3 リアクタンス $X$ の変動に対するE面ビーム幅の変化の一例（3dBビーム幅， $R=0$ ）

### 第4章 測定距離の変化により散乱波を除去する遠方界放射パターン測定法

本章では、前章まで述べた開口共用2周波アンテナのように、他周波素子との間の相互結合を含む複雑な放射特性を精度良く測定するために、散乱波を除去した放射パターンの新しい測定法を提案している。この方法では、周囲からの散乱波が存在する環境において測定距離 $r_0$ を変化させて複数の遠方界放射パターンのデータを取得し（図4参照）、それらをフーリエ変換することにより散乱波成分を取り除き、精度良く直接波成分、すなわち供試アンテナの遠方界放射パターンを得ることができる。散乱波として側壁からの鏡面反射1波を想定したシミュレーションにより、例えば、測定距離範囲を40波長とした場合、直接波成分に残留する散乱波成分を20.7dB抑圧できることを明らかにしている。

また、電波無響室の床面の電波吸収体を取り除いた状態で本測定法を適用し、床面からの散乱波を十分に除去できることを実験的に確認し、本測定法の有効性を明らかにしている（図 5、図 6 参照）。さらに、指向性のある供試アンテナに対して本測定法を適用し、散乱波源の位置を推定する方法を提案している。この方法は、散乱波の放射パターンを測定距離ごとに精度良く求め、各測定距離での放射パターン指向方向から散乱波源の位置を推定するものであり、事前に測定場の性能を把握しておくために必要なものである。電波無響室内に散乱波源を仮定した実験から、本推定法の有効性を明らかにしている。この新しい散乱波除去放射パターン測定法は狭帯域特性を有するアンテナに適している測定法であり、開口共用 2 周波アンテナに限らずどのアンテナにも適用できる。また、屋外測定場などのような散乱波が存在する場合にも本測定法の適用により精度の高い放射パターンが得られる。

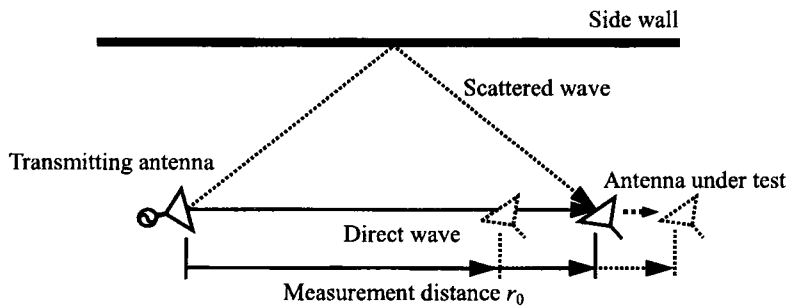


図 4 壁面からの散乱が存在する場合のアンテナ放射パターンの測定モデル

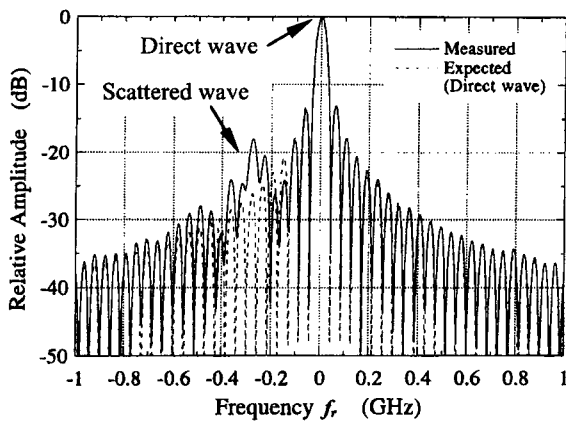


図 5 フーリエスペクトル

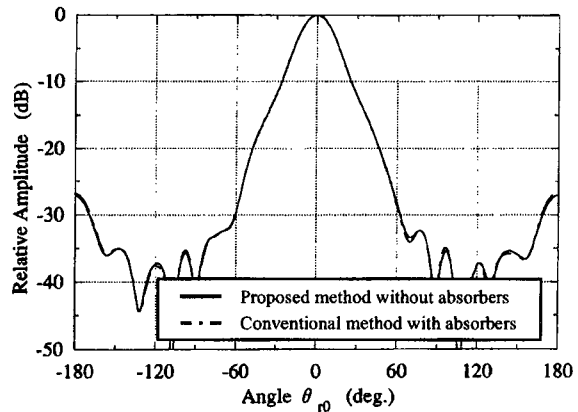


図 6 供試アンテナの放射パターンの比較

## 第 5 章 結論

本章では、ダイポールアンテナを素子とした開口共用 2 周波アンテナにおける放射特性の改善と、そのために必要とされる高精度な放射パターン測定法に関する研究の結論と成果を要約している。

無線通信分野におけるマルチメディア化、レーダ分野における高機能化と共に省スペース化、低コスト化への要求が今後さらに強くなっていくものと予想され、開口共用 2 周波アンテナへの需要が高まり、さらには、このアンテナのアレー化への要求も増すものとする。本研究で得られた成果が今後の研究開発の基礎資料として活用されることを期待する。

# 論文審査結果の要旨

新しい無線通信システムの導入や、レーダの高機能・高性能化のために、使用周波数が異なる複数のシステムで使用できるアンテナが望まれており、移動体通信基地局用およびレーダ用のアンテナとして、開口共用多周波アレーアンテナの開発が重要になっている。著者は、線状アンテナを素子とする開口共用2周波アンテナに着目し、放射特性の改善とこれを実現するために必要となる高精度の放射指向性の測定法について研究を行った。本論文はその成果をまとめたもので、全編5章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、低周波用と高周波用のダイポールアンテナ素子からなる開口共用2周波アンテナにおいて、これらの素子間の相互結合に伴う高周波帯での放射特性の劣化を改善するために、低周波アンテナ素子としてクランク付きダイポールアンテナを提案している。まず、クランク長を高周波数帯で約0.23波長に設定することにより誘起電流を抑圧できることをシミュレーションにより示し、次に周波数比を2.46とした設計・試作を通じて、所望の指向性が得られることをシミュレーションおよび実験により明らかにしている。また、このアンテナ素子を開口共用2周波アレーアンテナに適用し、放射特性劣化に起因する高周波数帯でのグレーティングロブを抑制できることを示している。この結果は、従来困難とされてきた開口共用多周波アレーアンテナの実現に道を開くもので、優れた研究成果である。

第3章では、地板付きダイポールアンテナのE面指向性のビーム幅の拡大について検討している。まず、ダイポールアンテナ近傍にリアクタンスを負荷したモノポールアンテナを2素子配置して、負荷の調整によりE面ビーム幅を拡大する方式を提案している。また、モノポール長と間隔をそれぞれ0.2波長と0.4波長とすることにより、リアクタンス負荷に対する設計精度を緩和できることをシミュレーションにより明らかにし、実験よりその有効性を確認している。このアンテナ構造において、ダイポールアンテナを低周波アンテナ素子、モノポールアンテナを高周波アンテナ素子とすることにより、広角走査可能な開口共用2周波アレーアンテナが得られることになり、素子指向性の改善と開口共用を同時に実現するものとして評価できる。

第4章では、開口共用2周波アンテナの放射特性改善の検討には不可欠となる高精度の放射パターン測定法について検討している。まず、測定距離を変化させて複数の遠方界複素放射パターンを取得し、それらをフーリエ変換することにより散乱波成分を取り除いて供試アンテナの指向性を測定する方法を提案すると共に、測定精度を向上するための条件を示している。また、実験によりその有効性を示すと共に、散乱波源の位置を推定することも可能であることを明らかにしている。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、開口共用2周波アレーアンテナを開発するために、線状アンテナを素子としたアレーアンテナの放射特性を改善する方法を提案すると共に、指向性の高精度な測定法を示したもので、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。